

文章编号: 0451-0712(2004)12-0070-04

中图分类号: U412.221

文献标识码: B

# 公路黄土洞穴灾害与水土流失研究

李喜安<sup>1</sup>, 彭建兵<sup>1</sup>, 郑书彦<sup>1</sup>, 王锦霞<sup>2</sup>

(1. 长安大学地测学院 西安市 710054; 2. 河北省地勘局第一地质大队 邯郸市 056001)

**摘要:** 通过野外调查对公路黄土洞穴水土流失机理进行研究, 结果表明: 路堑边坡洞穴侵蚀的主要原因是由于地形因素的改变; 路基、路面洞穴侵蚀的主要原因是其特殊的汇水作用; 路基边坡洞穴侵蚀的主要原因是施工过程中产生的大量填土或弃土的特殊土性所致。黄土高原公路黄土洞穴分布规律表明, 洞穴侵蚀程度由西北向东南逐渐减轻。

**关键词:** 公路; 黄土洞穴灾害; 水土流失; 机理; 分布规律

公路黄土洞穴灾害是指在黄土地区, 由于自然或生物因素在公路路堑边坡、路面、路肩、路基和路基边坡等公路工程部位形成洞穴, 由于洞穴的形成、扩大、坍塌而直接或间接地最终导致公路损毁的一种公路灾害<sup>[1]</sup>。公路洞穴灾害不但是公路建设与运营过程中的一个典型的工程地质问题, 而且常常会引发路基溃爬、边坡崩塌和滑坡等严重的重力侵蚀, 从而导致严重的水土流失。如甘肃省环县境内 211 国道 K217+600 段路堤处, 于 2002 年 8 月 4 日一场大雨后, 公路塌陷 30 多 m, 后虽经抢修但因雨而再次塌陷, 前后 15 d 内总侵蚀量达 3 369 t。甘肃省庆阳~西峰国道 K13+800~K13+812 段, 其上发育洞穴灾害 46 处, 最大一个陷坑的直径竟达 21.9 m, 深度达到 11 m, 下部暗穴延伸 26.6 m, 侵蚀量 6 278 t。黄土洞穴灾害发育如此密集、程度如此之大使得该段公路最终报废而不得不改线。据对甘肃省庆阳公路总段公路水毁资料的随机抽查和不完全统计, G211、G309、S202 庆阳段仅 2002 年发生的重大公路洞穴灾害点达到 58 个, 侵蚀量约 7 916 t, 造成直接经济损失 400 余万元; 定西地区每年 7~10 月份, 因暴雨形成的公路暗穴塌陷、边坡破坏及涵洞破坏, 其养护和应急灾害处理费用高达 8 000 余万元, 造成的水土流失极为严重。

公路黄土洞穴灾害在黄土高原地区广为分布, 但由于公路的线性工程特点, 其灾害点也呈线性分布, 尤其是黄土暗穴一般隐伏于路基之下而不易被人发

现, 所以以往没有引起人们的足够重视。鉴于此, 笔者在近 3 年来所做的相关工作基础上, 对黄土高原地区公路黄土洞穴及其水土流失特点进行了分析总结, 对如何防治公路黄土洞穴灾害及其引起的水土流失问题进行了深入探讨, 指出应着重采取合理护坡、设置边沟与涵洞、提高边沟及排水渠质量、增强植被防护等有效措施, 从根本上杜绝公路黄土洞穴的发生和发展, 减少因公路工程修建而引起的水土流失。

## 1 公路黄土洞穴灾害及其水土流失机理研究

黄土地区公路工程的本身特点决定了其易受到黄土洞穴的危害而造成水土流失; 同时, 不同的公路工程部位其洞穴灾害及其水土流失机理各具特点, 主要表现在以下几个方面。

### 1.1 路堑边坡洞穴灾害及其水土流失机理

公路建成后, 改变了原始的坡面地形, 如路堑段的公路使得原始边坡在公路处的地形产生了突变, 尤其是未实施适当护坡措施的路堑边坡, 其坡度较陡的边坡上常可形成大量的水凼窝<sup>[2]</sup>, 坡面携能径流通过水凼窝汇集, 在碎落台、内置边沟、路肩、路面等地形相对平缓的部位消能, 集中冲蚀的结果会在这些部位形成大量跌穴。同时, 公路的修建缩短了路堑边坡洞穴侵蚀的搬运距离, 从而加剧了路堑边坡中原生黄土洞穴的土壤侵蚀速度, 在路堑边坡上形成沟蚀(图 1)。另外, 在公路施工中挖方形成新的边

坡,由于应力得到释放加之车辆动荷载的作用使得边坡边缘的垂直节理开启、卸荷裂隙发育,十分有利于新的黄土洞穴的产生而导致沟蚀、崩塌或滑坡侵蚀,从而发生严重的水土流失。

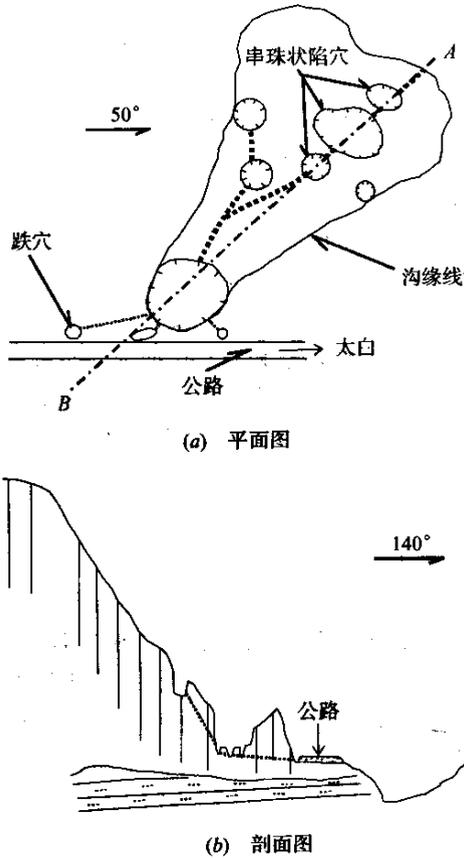


图1 甘肃省G211国道K13处路堑边坡沟蚀及路肩陷穴造成水土流失

### 1.2 路基和路面洞穴灾害及其水土流失机理

水是黄土洞穴产生的源动力<sup>[3]</sup>,而黄土高原降雨量普遍较小,所以要形成相对长期且集中的水流,必须具备一些有利的地形和地貌条件。公路工程条带状分布的特点为水流的汇集创造了十分有利的地形条件,从而为黄土洞穴的形成提供了相对充足的水源。另一方面,公路工程有限的宽度缩短了水流对路基黄土地层侵蚀搬运的距离,而路面一侧的临空面又为水流的排泄提供了充足的自由空间,尤其是路堤段或公路土桥段存在双临空面,十分便于黄土洞穴形成双向溯源沟蚀而引起大量的水土流失。

公路的运营过程中,各种构造作用以及车辆频繁的动荷载作用均可使路基产生开裂<sup>[2]</sup>,从而有利于暗穴的产生。而黄土路基中发育的浅层、中层以及部分深层暗穴在其上覆土层的自重作用下或车辆动荷载作用下发生破坏,会在路面上产生陷穴而造成路面穿洞,这种穿洞会对公路造成直接的危害,同时也常常导致巨大的水土流失灾害。相对黄土层而言,路面层、上基层、下基层由于其强度较高且抗水蚀能力强而破坏滞后,从而在初期往往只形成在路面出露面积很小的葫芦状陷穴,如图2(b)所示,若不能得到及时处理,在车辆动荷载或水流的冲蚀作用下很容易发展成竖井状,如图2(c)所示,乃至漏斗状陷穴。

除此之外,公路的施工过程常常扰动了部分原始黄土地层,尤其是下基层与土基之间存在着明显的岩性差异,沿该岩性差异界面处易发育表层微型和小型黄土暗穴。表层黄土暗穴距路面层距离较近,直接承受车辆频繁的动荷载作用,所以极易破坏而

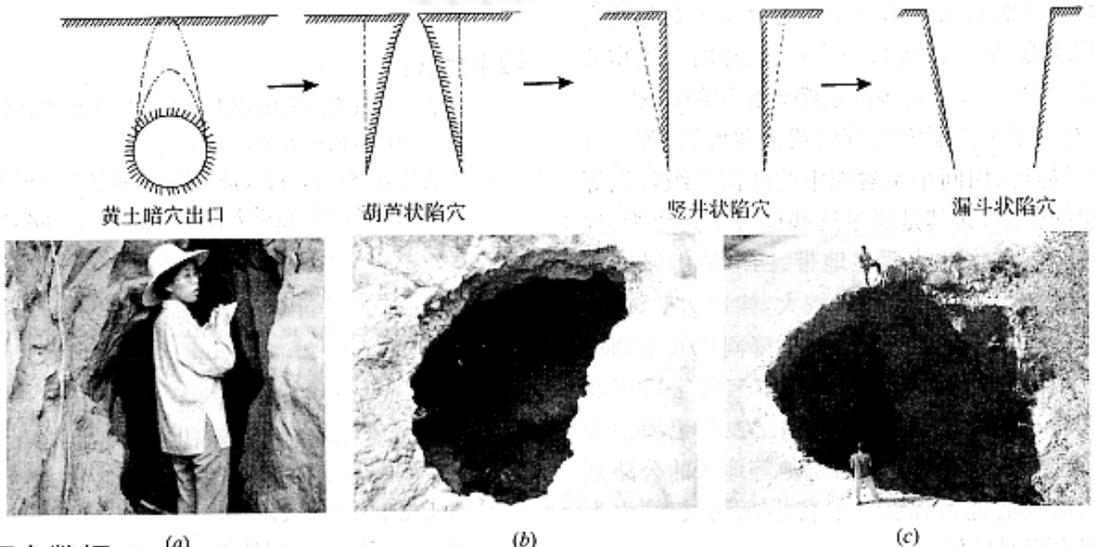


图2 庆阳~西峰公路黄土洞穴引起的路面穿洞破坏及水土流失

造成路面凹凸不平,形成所谓“鸡窝路面”而导致水土流失。

### 1.3 路基边坡洞穴灾害及其水土流失机理

公路的施工过程中常常伴随着大量的填土或弃土(尤其在半填半挖路段以及路堤段),这些扰动土一部分作为填土土料用来修建路基或路堤,而大多数则是直接遗弃在路基或路堤边坡上。由于土性是形成黄土洞穴的物质基础,而扰动土、填土或弃土相比原状土层来说其结构更为疏松,湿陷性和崩解性增强而抗冲刷性降低<sup>[2]</sup>,这样的土性更利于黄土洞穴的产生,所以在路基边坡的弃土中极易形成各类洞穴侵蚀(图3)。另外,修建在黄土地区的等级较低的公路,如国道、省道、县级以及乡级公路,其施工质量较差,养护不够及时,最易引发严重的洞穴灾害和水土流失。

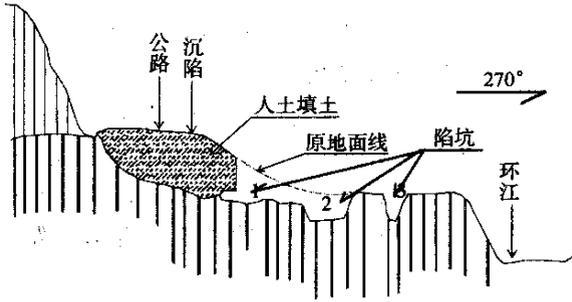


图3 甘肃省G309合水县柳沟东段路基边坡洞穴灾害及水土流失

## 2 公路黄土洞穴灾害及水土流失的分布规律

公路黄土洞穴及其水土流失的分布主要与所在区域及其地形、地貌、土性、构造背景、降雨和生物活动等因素有关<sup>[2~7]</sup>,是众多因素综合作用的结果。一般地,在有利于黄土洞穴发育的黄土残塬梁、黄土梁区、黄土梁峁区、山间小型盆地中的冲沟二级阶地等地区修建的公路,尤其是通过这些地貌单元边缘、沟头、斜坡地带、坡度变化明显地带、凹形坡等微地貌单元的公路,以及Q<sub>3</sub>黄土厚度较大,构造活动频繁,而且又具备有利于黄土洞穴形成的降雨以及生物活动等因素的这些地区的公路,黄土洞穴危害程度及水土流失普遍较为严重。相反,建立在黄土塬中心区、缓梁及缓坡顶部、低级阶地等地区的公路则受到黄土洞穴的危害程度一般较小,所引起的水土流失程度也相对较轻。

根据一年多来大量野外调查统计成果绘制的黄土高原国道及县、乡级公路黄土洞穴发育密度分区图

可以看出(图4),公路黄土洞穴侵蚀在宏观上具有一定的分布规律。其中由兰州—环县—吴旗—佳县一线以北的区域(多为Ⅵ区),公路黄土洞穴基本不发育;由此线向南直至甘谷—秦安—皋兰—西峰—延川一线之间的条带状区域,是公路黄土洞穴的主要发育带,其中强发育区(Ⅰ区)集中于陇西地区,而陇东、陕北及其他地区则多为较强发育区(Ⅱ区)和中等发育区(Ⅲ区);再向南至千阳—彬县—宜君—黄龙—吉县一线多为中等发育区(Ⅲ区)和较轻发育区(Ⅳ区);再向南至乾县—蒲城—合阳一线的地区,多为较轻发育区(Ⅳ区)和轻度发育区(Ⅴ区);此线再向南过渡为轻度发育区到不发育区。由此可见,黄土高原公路洞穴侵蚀总趋势是由西北向东南逐渐减轻。由兰州—环县—吴旗—佳县一线向西北呈突变趋势,而由此线向东南方向则呈渐变趋势。

## 3 结语

(1) 黄土地区公路工程的本身特点决定了其易受到黄土洞穴的危害而造成水土流失,不同的公路工程部位其洞穴灾害及其水土流失机理各具特点,其中路堑边坡洞穴侵蚀的主要原因是由于地形因素的改变;路基、路面洞穴侵蚀的主要原因是其特殊的汇水作用;路基边坡洞穴侵蚀的主要原因是施工过程中产生的大量填土或弃土的特殊土性所致。

(2) 黄土高原公路黄土洞穴侵蚀程度由西北向东南逐渐减轻。由兰州—环县—吴旗—佳县一线向西北呈突变趋势,向东南则呈渐变趋势。

## 参考文献:

- [1] 李喜安. 黄土暗穴的成因及其公路工程灾害效应研究[D]. 西安:长安大学,2004.
- [2] 李喜安,彭建兵. 用改进后的BP神经网络评价黄土质边坡稳定性[J]. 地质灾害与环境保护,2002,13(4).
- [3] 李喜安,等. 湿陷性黄土地区土壤洞穴侵蚀研究[J]. 水土保持研究,2003,10(2).
- [4] Fuller M L. Some Unusual Erosion Feature in the Loess of China[J]. Geogr. Rev., 1922,(12).
- [5] Rubey W W. Gullies in the Great Plains Formed by Sinking of Ground[J]. Am J. Sci., 1928,(12).
- [6] 王景明,卜臣. 黄土喀斯特与水土流失灾害[J]. 中国水土保持,1990,(1).
- [7] 王斌科. 引起洞穴侵蚀的主要因素的探索[J]. 水土保持学报,1989,3(3).

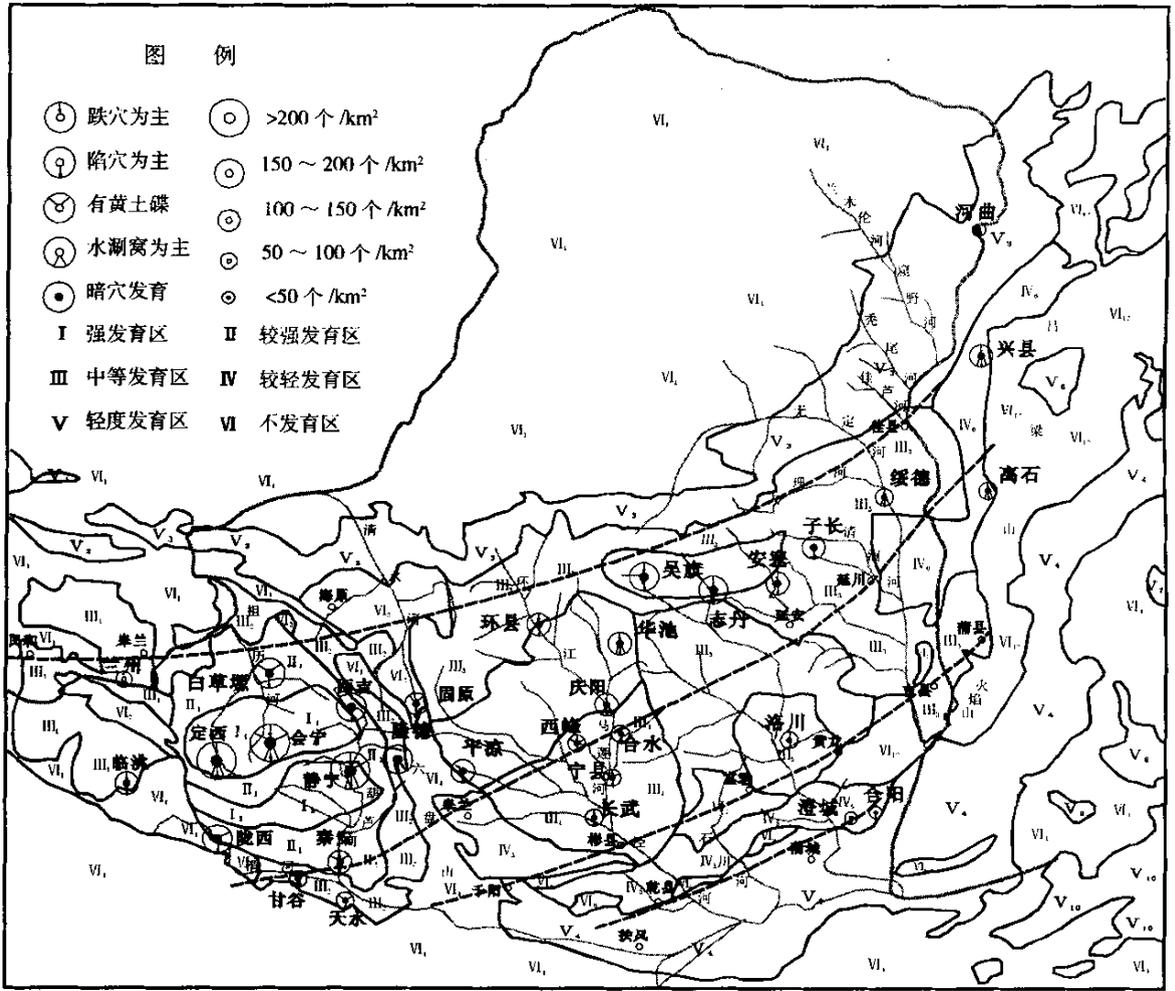


图4 黄土高原国道及县、乡级公路黄土洞穴发育密度分区  
(统计面积为距路面中心线两侧各50m范围内)

## Loess Cave Hazard in Highways and Water and Soil Loss

LI Xi-an<sup>1</sup>, PENG Jian-bing<sup>1</sup>, ZHENG Shu-yan<sup>1</sup>, WANG Jin-xia<sup>2</sup>

(1. Geology Engineering and Survey Engineering Institute, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. No. 1 Geology Team of Exploration Bureau of Hebei Province, Handan 056001, China)

**Abstract:** By means of field investigation, the mechanism of the water and soil loss caused by the loess cave hazard in highway are deeply analyzed, which shows that the main cause of cave erosion in trench slope is the topographic change, that in road surface is the catchment function, and that in subgrade slope is special property of the disturbed soil. The distribution of cave erosion shows that the cave erosion gradually decreases from northwest to southeast.

**Key words:** highway; loess cave hazard; water and soil loss; mechanism; distribution rule